

# Modelo Electrónico como Sistema de Entrenamiento para Cirugías en el Lóbulo Temporal en ORL

Vega Hernández Susana<sup>1</sup>, Tovar Arriaga Saúl<sup>2</sup>, De León Cuevas Alejandro<sup>2</sup>  
y Vargas Soto José Emilio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Querétaro. Campus Centro, Avenida Tecnológico s/n esq. Mariano Escobedo, Col. Centro, Querétaro, Qro. CP. 76000

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Informática. Campus Juriquilla, Avenida de las Ciencias s/n, Juriquilla Querétaro Qro. CP. 76230

## Resumen.

*En este trabajo se presenta un modelo electrónico utilizado como entrenamiento de médicos para mastoidectomías. El modelo se realizó utilizando diferentes dispositivos electrónicos y optoelectrónicos, con los cuales se logró diseñar un prototipo bastante cercano a la realidad, para que de esta forma se pueda tener un grado mucho mayor de acierto.*

*El circuito que se encuentra dentro de un cráneo artificial, se encuentra conectado a una tarjeta Arduino Uno, y ésta a su vez está conectada a un módulo XBee, para que así se manden diferentes alertas dependiendo la zona dañada vía inalámbrica, a un monitor que imprimirá en pantalla cualquier daño ocasionado a las diferentes estructuras en riesgo durante una mastoidectomía.*

**Palabras clave:** phantom electrónico, mastoidectomía, Arduino Uno, Optoelectrónica.

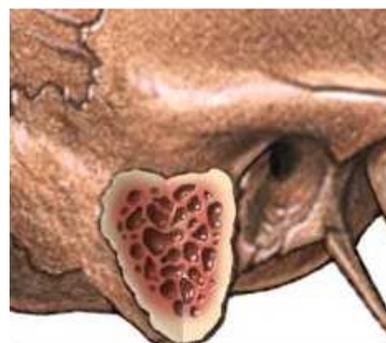
## 1. Introducción.

La simulación en cirugía es un área muy atractiva para el aprendizaje de técnicas quirúrgicas complejas. Una ventaja notable es que evita utilizar pacientes o sujetos ex-vivo durante el entrenamiento [1]. De esta manera, cuando se comienza con las operaciones reales, los cirujanos ya tienen varias horas de práctica realizada. El entrenamiento quirúrgico consiste en el desarrollo de habilidades cognitivas, clínicas y técnicas, con la asesoría de un experto [2]. Debido a la falta de oportunidad de asesoría para ciertas operaciones, es que se han utilizado modelos (*phantoms*), cadáveres y animales para replicar situaciones quirúrgicas. Gracias al avance de la tecnología es posible realizar modelos anatómicos cada vez más precisos utilizando tomografía computarizada y sensores más inteligentes.

Las intervenciones quirúrgicas en la sección mastoidea del hueso temporal son comunes en el área de otorrinolaringología (ORL). El procedimiento, llamado mastoidectomía, se realiza para remover células de aire y estructuras de hueso inflamadas que resultan de infecciones del oído interno tales como mastoiditis, otitis crónica, etc (Figura 1).



a)



b)

**Fig. 1. a) Vista de la zona infectada, b) sección de la zona de hueso porosa.**

Esto se logra mediante el fresado de esta zona utilizando un taladro quirúrgico pasando muy cerca de algunas estructuras de riesgo (nervio facial, cuerda

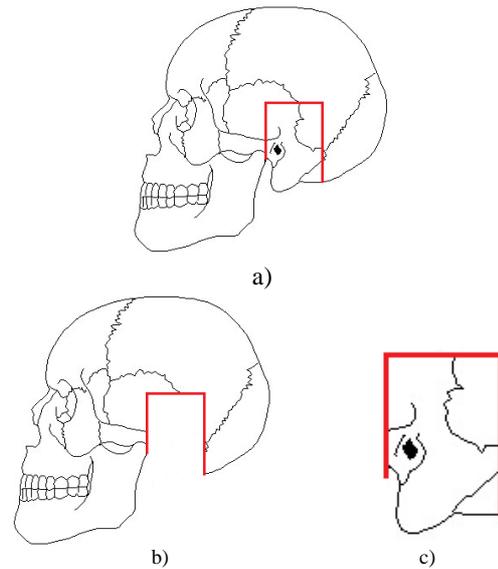
del tímpano, senos sigmoideos, arteria carótida, canales semicirculares horizontales, cadena osicular, cóclea, duramadre). Sin embargo, se gasta tiempo considerable tratando de localizar y proteger estas estructuras de riesgo, lo que demanda mucha concentración y provoca estrés en el cirujano. De acuerdo a la literatura, el índice de complicaciones (debido a mastoidectomía) con daño al nervio facial, los senos sigmoideos, los canales semicirculares, la duramadre o la cóclea va del 2% al 6% [3].

En este artículo se presenta un modelo electrónico (*phantom*) diseñado para simular mastoidectomías de una manera realista. El sistema poseerá características muy similares a la anatomía de interés ya que esta basado en imágenes tridimensionales de pacientes y el material de la estructura es muy similar al hueso.

## 2. Materiales y métodos.

El prototipo del cráneo artificial constará de dos partes mostradas en la Figura 2. La primera parte será el cráneo, sin el hueso pétreo, con el circuito adaptado de tal forma que queda un hueco en el lugar en el que se encuentra normalmente el hueso pétreo, este cráneo es un modelo educativo hecho con PVC avanzado.

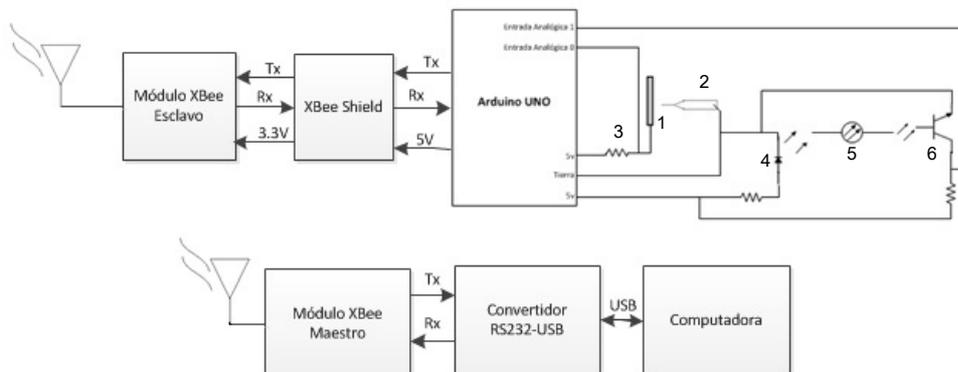
La segunda parte será una impresión 3D del hueso pétreo hecha de yeso, en la cual se encontrarán las estructuras en riesgo y se colocará en el hueco antes mencionado del hueso pétreo. Esta estructura es sobre la que se realizarán los fresados de práctica, y cada que se quiera utilizar el sistema, se tendrá que utilizar un nuevo dispositivo para que la simulación sea correcta.



**Fig. 2. Prototipo del cráneo a) Cráneo completo, b) cráneo sin hueso pétreo, c) hueso pétreo**

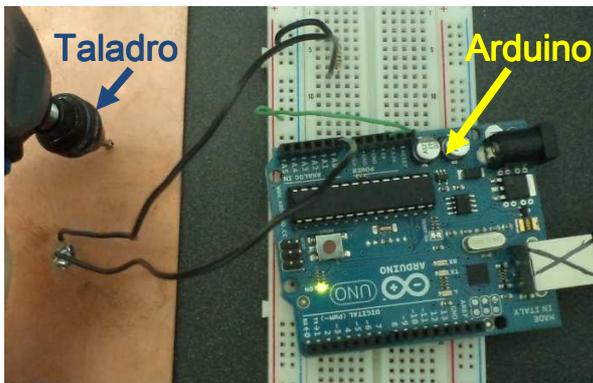
### 2.1. Estructuras en riesgo.

Las estructuras de mayor riesgo dentro de la zona del hueso pétreo son el seno sigmoideo, los canales semicirculares y el nervio facial. Es por esto que para el proyecto se hicieron representaciones electrónicas de estos, conectadas a una tarjeta Arduino Uno (con microcontrolador ATmega328) para ser alimentadas y mediante una antena XBee S2 (Digi International Inc., Minnetonka, Minesota, EUA) mandar la información obtenida a una computadora. En la figura 3 se puede apreciar el esquema general del sistema.

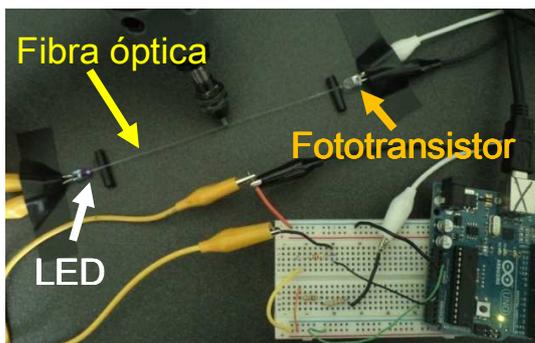


**Fig. 3. Arquitectura general del sistema de comunicación y operación. 1. Conductor (estructuras en riesgo: canales semicirculares y seno sigmoideo), 2. Taladro quirúrgico, 3. Resistencia, 4. LED (luz infrarrojo), 5. Fibra óptica (estructura en riesgo: nervio facial), 6. Fototransistor.**

Para representar el seno sigmoideo y los canales semicirculares se realizará una impresión en 3D de estas estructuras y se llenarán con una aleación de metales conectados a un circuito que los alimenta con 5V; en caso de que alguna de estas estructuras sea presionada al momento de fresar el hueso provocará un cambio de voltaje que llega hasta los 0V y se manda una alerta a la computadora, esto pasa debido a que el taladro se encuentra conectado directamente a tierra lo que ocasiona un cambio de potencial en las estructuras. El circuito se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Circuito armado para simular el seno sigmoideo y los canales semicirculares, la placa de metal que se puede observar representa estas estructuras y si es tocada por el taladro manda una señal de alarma.



**Fig. 5.** Circuito armado para simular el nervio facial mediante el uso de fibra óptica, si el taladro daña la fibra se lee como un daño en la pantalla.

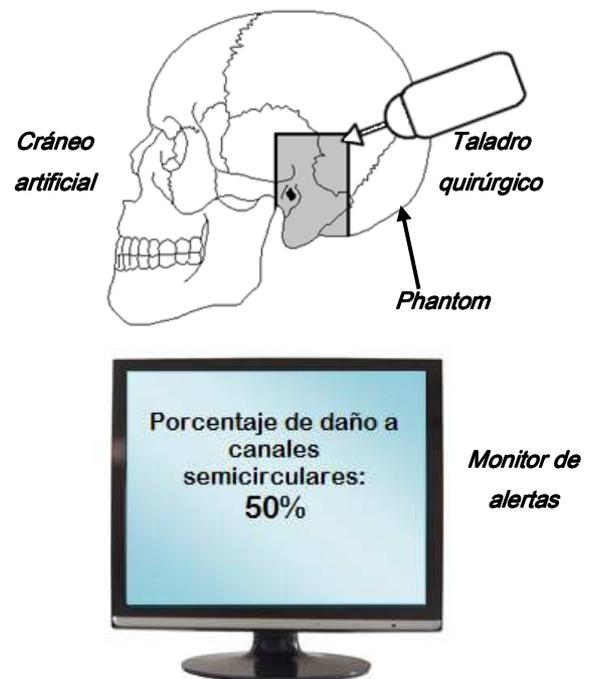
Por otro lado, se encuentra el nervio facial, el cual es representado por un segundo circuito que consta de un LED de luz infrarroja, la cual viaja a través de una fibra óptica hasta llegar a un fototransistor, como se muestra en la figura 5. En el colector de este transistor se toma una lectura mediante la tarjeta Arduino, que se encuentra

siempre que pase completamente la luz por la fibra, alimentada con 5V; en caso de que el nervio (la fibra óptica) se dañe, hay un cambio de voltaje que se ve reflejado en la tarjeta Arduino y de esta forma se manda una alerta a la computadora especificando el porcentaje aproximado de los daños a la estructura.

## 2.2. Comunicación inalámbrica.

La tarjeta Arduino Uno se comunica inalámbricamente con la computadora como si fuera un puerto serial gracias a un módulo XBee S2 (Digi International Inc., Minnetonka, Minesota, EUA) el cual está basado en el protocolo inalámbrico ZigBee (IEEE 802.15.4). Este módulo es capaz de transmitir hasta 30 metros en lugares cerrados y hasta 100 metros en lugares abiertos [4].

A través de este módulo, se mandan las lecturas de voltajes obtenidos en los diferentes circuitos, obteniendo de esta forma los datos en la computadora que son representados como porcentajes de daños en el caso del nervio facial y como alarmas en el caso de dañar los canales semicirculares o el seno sigmoideo (Figura 6).



**Fig. 6.** El médico que realiza la mastoidectomía gracias al Phantom conoce la posición exacta del taladro con respecto al cráneo, y en caso de que el primero toque o rasguñe las estructuras en riesgo, se verá reflejado en el monitor de alertas.

Estudios realizados por personas que realizaron un proyecto similar, presentan que el grado de acierto al realizar este tipo de cirugías con el sistema de entrenamiento es bastante alto, esto debido a que el prototipo que se tiene es bastante cercano a la realidad [5].

### 3. Discusión.

En este artículo se presenta el prototipo de un sistema de entrenamiento para mastoidectomías en su primera fase de planeación y simulación. Las estructuras de riesgo son representadas por medio de circuitos eléctricos y optoelectrónicos. Se simula el fresado con un taladro convencional, con una fresa parecida a las utilizadas en las mastoidectomías reales, y se pretende que cuando este toque las estructuras de riesgo, el circuito mande una señal a la computadora la cual mostrará una alerta. Con este arreglo se espera simular de forma satisfactoria las condiciones de la operación.

Como trabajo futuro se pretende realizar una impresión 3D de las zonas anatómicas de interés así como la implementación electrónica del circuito en dicha estructura. Cabe mencionar, que el trabajo presentado formará parte de un proyecto más ambicioso en donde el sistema de entrenamiento estará auxiliado por un sistema de navegación óptico el cual mostrará la posición de la herramienta en tiempo real en imágenes tridimensionales que contengan las posiciones actuales de las estructuras de riesgo. Lo anterior le dará al cirujano una visión más completa de la zona de interés.

### Referencias.

- [1] Sutherland LM, Middleton PF, Anthony A, Hamdorf J, Cregan P, Scott D, Maddern GJ, “ Surgical Simulation: A Systematic Review”, *Annals of Surgery*, Volume 243, Number 3, March 2006
- [2] Satava RM, Gallagher AG, Pellegrini CA, “Surgical competence and surgical proficiency: definitions, taxonomy, and metrics” *J Am Coll Surg*. 2003;196:933–937.
- [3] Green JD, Shelton C, Brackmann DE, “Iatrogenic facial nerve injury during otologic surgery”, *The Laryngoscope*, Volume 104, Issue 8, pages 922–926, August 1994
- [4] Faludi Robert (2011), *Building Wireless Sensor Networks, A Practical Guide to the*

ZigBee Mesh Networking Protocol,  
O'REILLY, ISBN: 978-0-596-80773-3.

- [5] Grunert, R.; Strauss, G.; Moeckel, H.; Hofer, M.; Poessneck, A.; Fickweiler, U.; Thalheim, M.; Schliedel, R.; Jannin, P.; Schulz, T., Oeken, J.; Dietz, A.; Korb, W. (2008) “*ElePhant- An anatomical Electronic Phantom as simulation- system*”, Conference proceedings : Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2006;1:4408-11.